

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes básicos generales	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcances	3
2. Antecedentes y Discusión Bibliográfica.....	5
2.1. Hidrógeno y sus propiedades	5
2.2. Electrólisis	7
2.2.1. Tipos de electrólisis	7
2.2.1.1. Electrólisis alcalina AE	7
2.2.1.2. Electrólisis de membrana de electrolito de polímero PEM.....	8
2.2.1.3. Electrólisis a alta temperatura	8
2.2.2. Comparación tecnologías	8
2.2.3. Costos de producción de hidrógeno	9
2.3. Hidrógeno líquido, proceso de licuefacción	10
2.3.1. Ciclo <i>Linde-Hampson</i>	10
2.3.2. Ciclo <i>Claude</i>	11
2.4. Hidrógeno gaseoso, proceso de compresión.....	12
2.5. Almacenamiento de hidrógeno	13
2.5.1. Almacenamiento de hidrógeno líquido criogénico <i>LH2</i>	13
2.5.2. Almacenamiento de hidrógeno gaseoso comprimido <i>CGH2</i>	14
2.6. Energía solar en Chile.....	15
2.6.1. Energía solar fotovoltaica.....	16
2.6.2. Energía solar para producción de hidrógeno	16
2.6.3. Mercado eléctrico chileno	16
2.6.3.1. Mercado spot.....	17
2.6.3.2. Mercado de contratos	17

2.6.4.	Coordinador Eléctrico Nacional	17
2.6.5.	Conceptos relevantes	18
3.	Metodología.....	19
4.	Escala del proyecto.....	20
5.	Planta Fotovoltaica.....	21
5.1.	Antecedentes de recursos energéticos en la Región de Antofagasta, Chile.....	21
5.2.	Ubicación geográfica de puntos de interés	24
5.3.	Análisis del recurso solar disponible	26
5.3.1.	Potencial de irradiación por ubicación	26
5.3.2.	Comparación ubicaciones con mejores resultados de irradiación	29
5.3.2.1.	Ubicación seleccionada: E	30
6.	Planta Electrólisis de Agua.....	33
6.1.	Principales proveedores de electrolizadores en el mundo	33
6.2.	Elección tecnología electrólisis	33
6.3.	Costos de producción de hidrógeno por electrólisis	35
6.3.1.	Costos electricidad.....	35
6.3.2.	Costos agua.....	35
6.4.	Electrolizador.....	36
6.5.	Diagrama planta electrólisis.....	37
7.	Licuefacción y Compresión de Hidrógeno	38
7.1.	Proceso de licuefacción	38
7.1.1.	Ciclo termodinámico licuefacción.....	39
7.1.1.1.	Definición ciclo.....	40
7.1.1.2.	Válvula <i>Joule-Thomson</i>	41
7.1.2.	Resultados estado termodinámico licuefacción.....	43
7.1.2.1.	Estado estacionario de producción.....	44
7.2.	Proceso de compresión	45
7.2.1.	Ciclo termodinámico compresión.....	46
7.2.1.1.	Definición ciclo.....	46
7.2.1.2.	Factor de compresión	46
7.2.2.	Resultados estado termodinámico compresión	47
7.3.	Potencia eléctrica y térmica entregada.....	48

8. Diseño Unidades de Almacenamiento	49
8.1. Hidrógeno líquido criogénico <i>LH2</i>	49
8.1.1. Resultados diseño unidades de almacenamiento <i>LH2</i>	50
8.2. Hidrógeno gaseoso comprimido <i>CGH2</i>	51
8.2.1. Resultado diseño unidades almacenamiento <i>CGH2</i>	51
9. Ingeniería Básica	53
9.1. Diagramas de flujo generales	53
9.2. Dimensionamiento y memoria de cálculo	54
9.2.1. Planta fotovoltaica	54
9.2.2. Planta electrolisis de agua	57
9.2.3. Planta de licuefacción	59
9.2.3.1. Análisis termodinámico del ciclo de licuefacción	59
9.2.3.2. Dimensionamiento de equipos	63
9.2.3.2.1. Compresor	63
9.2.3.2.2. Turbina	64
9.2.3.2.3. Intercambiadores de calor	65
9.2.3.2.4. Estanque receptor	65
9.2.4. Planta de compresión	66
9.2.4.1. Análisis termodinámico del ciclo de compresión	66
9.2.4.2. Dimensionamiento de equipos	67
9.2.4.2.1. Compresores	68
9.2.4.2.2. Intercambiadores de calor	68
9.2.5. Almacenamiento	69
9.2.5.1. Hidrógeno Líquido Criogénico	69
9.2.5.2. Hidrógeno Gaseoso Comprimido	70
10. Evaluación económica	71
10.1. Evaluación económica planta fotovoltaica	71
10.1.1. Estimación costos marginales e ingresos por venta	71
10.1.1.1. Costos marginales	71
10.1.1.2. Proyección costos marginales	72
10.1.1.3. Ingresos por potencia instalada	73
10.1.2. Inversión	73

10.1.3.	Costos operacionales y mantenimiento.....	74
10.1.4.	Indicadores económicos.....	75
10.2.	Evaluación económica producción de hidrógeno por licuefacción y compresión	76
10.2.1.	Inversión y costos operacionales y mantenimiento	76
10.2.2.	Indicadores económicos.....	78
11.	Discusión y Análisis.....	80
11.1.	Discusión sobre los resultados	80
11.2.	Evaluación económica.....	81
12.	Conclusiones	84
13.	Bibliografía	86